Bakhtiiarov, D.I., Lavrynenko, O.Y., Lishchynovska, N.O., & Komarnytskyi, O.O. (2020). Methods of evaluation and forecasting of levels of electromagnetic radiation in urban environments. *Actual issues of modern science. Collection of Scientific Articles. European Scientific e-Journal*, *6*, *2*, 40-54. Hlučín-Bobrovníky: "Anisiia Tomanek" OSVČ. (in Ukrainian)
Бахтіяров, Д.І., Лавриненко, О.Ю., Ліщиновська, Н.О., Комарницький, О.О. (2020). Методи оцінювання та прогнозування рівнів електромагнітних випромінювань в урбанізованих середовищах. *Actual issues of modern science. Collection of Scientific Articles. European Scientific e-Journal*, *6*, *2*, 40-54. Hlučín-Bobrovníky: "Anisiia Tomanek" OSVČ.

DOI: 10.47451/inn2020-12-001
EOI: 10.11244/inn2020-12-001

The paper is published in Crossref, Internet Archive, Google Scholar, Academic Resource Index ResearchBib, JGate, ISI, CiteFactor, ICI, eLibrary databases.

Denys I. Bakhtiiarov
Graduate assistant
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
E-mail: denys.bakhtiiarov@npp.nau.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3298-4641

Oleksandr Y. Lavrynenko
Graduate assistant
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
E-mail: oleksandr.lavrynenko@npp.nau.edu.ua

Nataliia O. Lishchynovska
Graduate assistant
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
E-mail: natashalil858@ukr.net
ORCID: 0000-0002-1913-8419

Oleg O. Komarnytskyi
Graduate assistant
Deputy Head of the Department of Strategic Planning
Department of Transport Infrastructure
Kiev State Administrative Administration
Kyiv, Ukraine
E-mail: komarnitskiy2012@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4038-9906

Methods of evaluation and forecasting of levels of electromagnetic radiation in urban environments (in Ukrainian)

Abstract:
This article is devoted to the decision of the actual scientific and applied problem which consists in the development of a method of definition of levels of the basic and secondary electromagnetic radiations in the urban environments at the expense of perfection of models of their distribution. The necessity

in the increased efficiency of use of devices of monitoring of an electromagnetic situation on the basis of the analysis of features of distribution of electromagnetic radiations in the urban environment and lacks of the existing mathematical device for their description is proved. The nature of the interference and the distance in real operating conditions and the corresponding graphical and mathematical dependences were obtained, which formed the basis of the method of improving the models of electromagnetic radiation propagation. Scientific methods of synthesis of the detailed structural scheme of processes of detection and localization of uncontrolled and unlicensed devices of information transmission on radio channels, including development of the software for definition of a zone of electromagnetic accessibility indoors are substantiated. An original approach, algorithm of functioning and methods of synthesis of search means in the conditions of radio interference and detection of sources of electromagnetic radiation are developed.

Key words:
secondary electromagnetic radiation; electromagnetic reach; radio wave propagation; Hut model; COST 231 MWM; monitoring of the electromagnetic environment, attenuation factor.

Денис Ілшатович Бахтіяров
Здобувач
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
E-mail: denys.bakhtiiarov@npp.nau.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3298-4641

Олександр Юрійович Лавриненко
Здобувач
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
E-mail: oleksandr.lavrynenko@npp.nau.edu.ua

Наталія Олександрівна Ліщиновська
Здобувач
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
E-mail: natashalil858@ukr.net
ORCID: 0000-0002-1913-8419

Олег Олександрович Комарницький
Здобувач
Заступник начальника відділу стратегічного планування
Департаменту транспортної інфраструктури
Київська міська державна адміністрація
Київ, Україна
E-mail: komarnitskiy2012@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4038-9906

Методи оцінювання та прогнозування рівнів електромагнітних випромінювань в урбанізованих середовищах

Анотація:
Дана стаття присвячена рішенню актуальної науково-прикладної задачі, яка полягає в розробці методу визначення рівнів основних та побічних електромагнітних випромінювань в урбанізованих середовищах за рахунок удосконалення моделей їх розповсюдження. Обґрунтовано необхідність в підвищені ефективності використання пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки на основі аналізу особливостей розповсюдження електромагнітних випромінювань в урбанізованому середовищі та недоліків існуючого математичного апарату для їх опису. Представлено модель оцінки енергетичних характеристик сигналів в точці спостереження на основі експериментальних досліджень затухання електромагнітних випромінювань в залежності від частоти, характеру перешкоди та відстані в реальних умовах експлуатації та отримано відповідні графічні й математичні залежності, що лягли в основу методу удосконалення моделей розповсюдження електромагнітних випромінювань. Обґрунтовано наукові методи синтезу деталізованої структурної схеми процесів виявлення та локалізації неконтрольованих та неліцензованих пристроїв передавання інформації по радіоканалах, що включають розробку програмного забезпечення для визначення зони електромагнітної доступності всередині приміщення. Розроблено оригінальний підхід, алгоритм функціонування та методи синтезу засобів пошуку в умовах радіоперешкод та виявлення джерел електромагнітних випромінювань.

Ключові слова:
побічні електромагнітні випромінювання, зона електромагнітної доступності, розповсюдження радіохвиль, модель Хата, модель COST 231 MWM, моніторинг електромагнітної обстановки, коефіцієнт затухання.

Вступ

Комплекси радіомоніторингу електромагнітної обстановки широко використовуються як інструмент для вирішення проблем у різних сферах – від управління використанням радіочастотних ресурсів до визначення областей енергетичного покриття при оцінці якості радіозв'язку. На додаток до конкретних завдань радіомоніторингу використання вищезазначених методів знаходить свої застосування для потреб електрозв'язку. Це, в свою чергу, призводить до необхідності розрахунків зони «покриття», або зони ЕМД, та інтеграцію радіочастотних систем, найбільш доцільних з точки зору вимог ефективності використання радіотехнічних пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки.

Прикладна частина, яка використовується для вирішення даного завдання, включає перевірку аналітичних підходів та розробку методів забезпечення моніторингу електромагнітних випромінювань, оцінку операційної ефективності для забезпечення електромагнітної доступності з урахуванням впливу урбанізованого середовища на характер розповсюдження електромагнітних випромінювань.

Проблема підвищення ефективності використання пристроїв моніторингу електромагнітних випромінювань стала актуальною внаслідок збільшення кількості міжнародних контактів та лібералізації ринку засобів радіозв'язку, а також загроз з боку зловмисників, які збирають інформацію про промислові та економічні таємниці державних та комерційних установ. Поява на новому рівні проблеми захисту інформації та розрахунку периметрів контрольованих зон наочно продемонстрували певне наукове і особливо технічне відставання вітчизняних засобів радіомоніторингу, здатних адекватно протистояти даними загрозам при проведенні контролю рівнів електромагнітних випромінювань, виявленні і локалізації потенційно небезпечних джерел радіовипромінювання, виявленні електромагнітних випромінювань і наведень, здатних призвести до витоку конфіденційної інформації.

Метою даного оригінального дослідження є підвищення ефективності використання приладів радіомоніторингу в умовах складного характеру розповсюдження радіохвиль всередині приміщень. Відповідно до цього було запропоновано метод розрахунків рівнів основних та побічних електромагнітних випромінювань для потреб радіомоніторингу, що здатен враховувати втрати потужності радіосигналу на подолання різних типів перешкод всередині приміщень (Бахтіяров, Д.І., 2019). Вперше розроблено метод оцінювання рівнів електромагнітних випромінювань радіотехнічними засобами моніторингу електромагнітної обстановки, що полягає в синтезі чотирьохетапного процесу виявлення їх джерел в урбанізованому середовищі в умовах складної структури електромагнітного поля, що дозволяє зменшити тривалість пошукового процесу та підвищити достовірність одержаної інформації. Також удосконалено принципи оптимального проектування радіотехнічних вузлів та пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки через врахування детермінованих та випадкових відхилень параметрів електромагнітного поля всередині приміщень, що дозволило підвищити інтегральну чутливість засобів моніторингу електромагнітної обстановки та точність прогнозування електромагнітного поля з урахуванням особливостей джерел випромінювань.

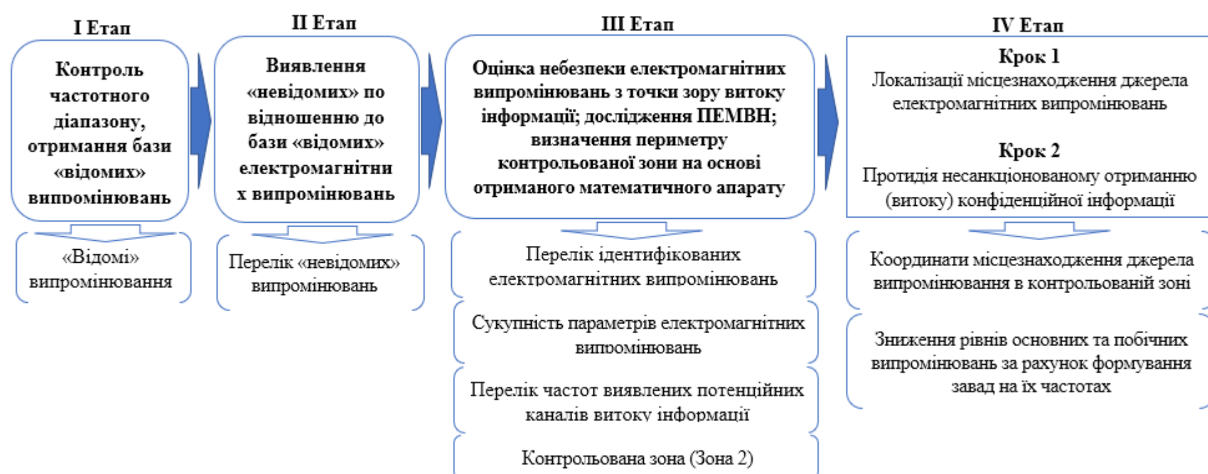
Всі представлені в даній роботі аналітичні результати отримані з використанням наступних математичних апаратів: методи теорії розповсюдження електромагнітних випромінювань – для аналізу затухання електромагнітного поля в залежності від частоти та відстані в реальних умовах експлуатації; методи математичного моделювання – для перевірки адекватності

розроблених моделей та алгоритмів; методи обробки експериментальних даних – для уточнення моделі розповсюдження радіохвиль.

В переліку літературних джерел представлені проміжні етапи ходу дослідження авторами даної статті: «Особливості вибору моделі розповсюдження електромагнітних випромінювань всередині приміщення» (Бахтіяров, Д.І., 2019), «Методика модернізації моделі розповсюдження радіохвиль в середині приміщення для побудови контрольованої зони корпоративної мережі» (Бахтіяров, Д.І. і Козлюк І.О., 2019), "Evaluation of energy availability of means to communicate with UAVs in conditions of radioelectronic countermeasures by the enemy" (Bakhtiiarov, D., 2016), «Оцінка можливості перехоплення семантичної інформації за рахунок побічних електромагнітних випромінювань у відеосистемі персонального комп'ютера» (Бахтіяров, Д.І., 2020), «Порівняльний аналіз перетворення Фур'є, косинусного перетворення та Вейвлет-перетворення як спектрального аналізу цифрових мовних сигналів» (Конахович, Г.Ф. і інші, 2015), "A Digital Speech Signal Compression Algorithm Based on Wavelet Transform" (Konakhovych, et al., 2016).

Процес виявлення джерел електромагнітних випромінювань в умовах складної електромагнітної обстановки

Одним з напрямків моніторингу електромагнітної обстановки є пошук і виявлення спеціально організованих і потенційних радіоканалів витоку інформації. Виявлення технічних каналів витоку – складний багатоетапний процес, який в спрощеному вигляді може бути представлений у вигляді сукупності ряду етапів, представлених на іл. 1.



Ілюстрація 1. Основні етапи процесу виявлення технічних каналів витоку інформації

Від повноти вирішення завдань пошуковим обладнанням залежить тривалість процесу пошуку і достовірність одержуваної інформації. Повнота і швидкість їх проведення, ефективність пошукової системи, достовірність одержаної інформації та вірогідність прийняття рішення залежать від структури пошукової системи і характеристик використовуваних в ній засобів.

І Етап передбачає аналіз поточного завантаження діапазону і накопичення даних про частоти, рівні і характер електромагнітних випромінювань в робочому діапазоні частот з прив'язкою даних до місця прийому. Під «відомими» випромінюваннями розуміється сукупність накопичених за певний інтервал часу даних про завантаження діапазону, отриманих за результатами проведення поточного контролю. При цьому передбачається, що небезпечні сигнали відсутні, що досягається, наприклад, поступовим накопиченням «відомих» випромінювань з ретельною перевіркою кожного з випромінювань.

ІІ Етап. До переліку «невідомих» включаються дані про випромінювання, сукупності параметрів яких задовольняють заданим критеріям пошуку. Використання «опорної» антени передбачає наявність у складі пошукової системи антенного комутатора, що забезпечує почергове підключення однієї з прийомних (в виділеному приміщенні) антен та «опорної» антени, що знаходиться поза контрольованою зоною приміщення, але забезпечує надійний прийом всіх зовнішніх сигналів.

ІІІ Етап передбачає проведення тестування, що дає певний ефект як при виявленні радіомікрофонів без закриття (випромінювання в виділеному приміщенні спеціально синтезованих акустичних сигналів), так і при проведенні спецдосліджень на ПЕМВН шляхом відповідної модуляції інформативних параметрів випромінювань (Бахтіяров і Д.І., Козлюк І.О., 2019; Bakhtiiarov, D., 2016).

Для виконання IV Етапу необхідно здійснити порівняння максимальних (з виходів антен в контрольованій зоні) компонент спектра з рівнями відповідних компонент попередньо накопичених у виділеному приміщенні «відомих» електромагнітних випромінювань (при явній відсутності випромінювань ЗП) і граничним рівнем для відповідної частоти, а потім за результатами порівняння приймається рішення про наявність (відсутність) «невідомих» випромінювань в контрольованій зоні (Бахтіяров, Д.І., 2020). Координати при моніторингу електромагнітної обстановки обрані з сукупності спектральних відліків X_R *(J, n)* усереднених по *R* реалізацій енергетичного спектра.

$$X_R(j,n) = \frac{1}{R} \times \sum_{r=1}^{R} \left| c_{(r)}(n) \right|^2 ,$$

де j - номер антени, підключеної до входу апаратури моніторингу.

Середня потужність випадкового процесу $U_m(t)$, представленого в частотній області сукупністю значень $X_R(j,n)$ номерами від n_{min} до n_{max}, пропорційна сумі цих відліків:

$$\hat{P}_{j,m} = 10lg\left(\sum_{n=n_{min}}^{n_{max}} X_R(j,n)\right) + \mu, \text{дБ} ,$$

де μ - поправочний коефіцієнт, який визначається калібруванням антени і апаратури використовуваного каналу моніторингу електромагнітної обстановки (МЕО).

Запропонована структура пошукової системи, яка реалізує даний алгоритм і забезпечує при цьому підвищену інтегральну чутливість і максимальну швидкодію, містить: комплект широкодіапазонних антен, одна з яких («опорна») винесена за межі виділеного приміщення; керований антенний комутатор; керований по частоті приймальний тракт з шириною смуги пропускання по ПЧ; пристрій аналого-цифрової обробки на основі швидкого перетворення Фур'є; керуючий пристрій із змінною структурою, яка визначається запропонованим програмним забезпеченням.

Підвищення ефективності використання апаратури МЕО при даному способі забезпечується: використанням панорамного аналізу на основі ШПФ (Конахович, Г.Ф. і інші, 2015; Konakhovych, G.F., et al., 2016); скороченням обсягу оброблюваних даних при використанні бази «відомих» електромагнітних випромінювань або сигналів з виходу «опорної» антени.

В основу даного способу покладено відоме положення електродинаміки про різний характер зміни напруженості електромагнітного поля в ближній і дальній зонах. Компоненти вектора напруженості електричного поля, випромінюваного електричним диполем p, в сферичних координатах визначаються виразами:

$$\begin{cases} E_r = \frac{1}{2\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{r^3} - \frac{ik}{r^2}\right)\cos\theta|\vec{p}|exp[-i\omega t] , \\ E_\theta = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\left(\frac{1}{r^3} - \frac{ik}{r^2} - \frac{k^2}{r}\right)\sin\theta|\vec{p}|exp[-i\omega t], \\ E_\varphi = 0. \end{cases},$$

де r, θ та φ – сферичні координати, E_r, E_θ, E_φ- компоненти напруженості електричного поля в сферичних координатах, ε, μ – електрична і магнітна проникності вільного середовища, ω - кругова частота випромінювання.

Дипольний момент пов'язаний з випромінюваної потужністю W співвідношенням:

$$W = \frac{\omega^4}{12\pi}\mu\sqrt{\varepsilon\mu}|\vec{p}|^2 ,$$

Модуль напруженості електричного поля визначається виразом:

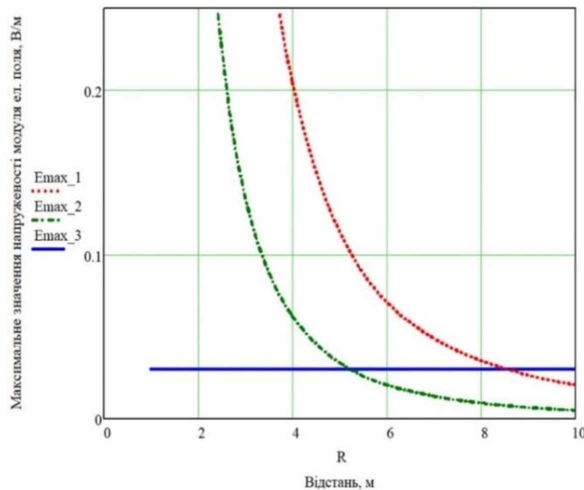
$$\left|\vec{E}\right| = \sqrt{\frac{12\pi W}{\mu\sqrt{\varepsilon\mu}\omega^4}}\sqrt{\frac{1}{(2\pi\varepsilon)^2}\left(\frac{1}{r^6}+\frac{k^2}{r^4}\right)cos^2\theta + \frac{1}{(4\pi\varepsilon)^2}\left(\left(\frac{1}{r^3}+\frac{k^2}{r}\right)^2+\frac{k^2}{r^4}\right)sin^2\theta},$$

Максимум модуля напруженості електричного поля по всіх можливих напрямах θ, при заданому *r* визначається виразом:

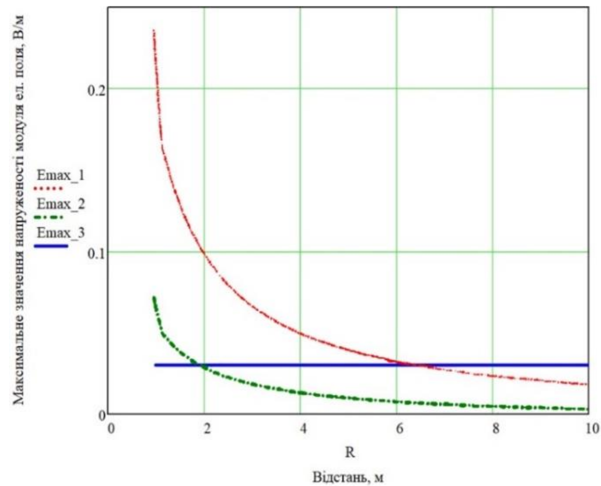
$$E_{max}(r) = \sqrt{\frac{12\pi W}{\mu\sqrt{\varepsilon\mu}\omega^4}}\sqrt{max\left\{\frac{1}{(2\pi\varepsilon)^2}\left(\frac{1}{r^6}+\frac{k^2}{r^4}\right), \frac{1}{(4\pi\varepsilon)^2}\left(\left(\frac{1}{r^3}+\frac{k^2}{r}\right)^2+\frac{k^2}{r^4}\right)\right\}},$$

На іл. 2 представлені залежності максимального значення модуля напруженості електричного поля E_{max}, що породжується порівняно малопотужними (100 мкВт і 1 мВт) джерелами ЕМВ з частотами 30 і 300 МГц в виділеному приміщенні на відстанях *R* від 1 до 10 м. На тих же рисунках приведені залежності потужних (100 Вт) джерел електромагнітних випромінювань, наприклад, радіомовних станцій, віддалених від виділеного приміщення на 3 км.

Аналіз характеру зміни кривих показує, що в ближній (1...8 м) зоні рівень випромінювання від малопотужних джерел, як і слід було очікувати, перевищує рівень потужних, але віддалених джерел. Для реалізації можливості виявлення малопотужних радіомікрофонів в умовах складної завадової електромагнітної обстановки і підвищення ефективності пошукової системи в виділеному приміщенні розміщуються декілька (2...4) антен з квазіізотропними діаграмами спрямованості. Вони встановлюються з таким розрахунком, що при будь-якому розміщенні радіомікрофона його відстань до антени складе 1...5 метрів, що відповідає «ближній» зоні прийому.



(а)



(б)

Ілюстрація. 2. Залежність Emax від відстані до джерела випромінювання на частоті:
(а) 30 МГц при значеннях потужності 1 мВт (Emax_1), 100 мкВт (Emax_2), 100 Вт (Emax_3);

(б) 300 МГц при значеннях потужності 1 мВт (Emax_1), 100 мкВт (Emax_2), 100 Вт (Emax_3).

Такий метод дає можливість виділити антену, сигнал з виходу якої має найбільший рівень. Цим досягаються такі можливості: відселектувати випромінювання ЗП на фоні випромінювань штатних радіозасобів; компенсувати нерівномірності діаграми спрямованості квазіізотропних антен в різних просторових секторах.

Можливість підключення до одного з входів комутатора зовнішньої («опорної») антени істотно збільшує ймовірність розрізнення зовнішніх і внутрішніх джерел випромінювань в складній електромагнітній обстановці, підвищує швидкодію пошуку нових сигналів.

Методика виявлення джерел «невідомих» електромагнітних випромінювань в зоні електромагнітної доступності з урахуванням детермінованих та випадкових відхилень параметрів електромагнітного поля

Дана методика складається з наступних кроків:

1. Радіоприймальний пристрій налаштовується на ділянку частот, що дорівнює смузі $\Delta F(q)$ з номером *q* робочого діапазону RD, $q = 1, 2, \ldots Q$, $Q = \frac{RD}{\Delta F}$
2. Антенний комутатор підключає до входу пристрою МЕО «опорну» антену з номером *j (j=1)*

3. За відліком спостережуваного енергетичного спектра вхідного випадкового процесу на основі: $\widehat{\sigma}^2_{\text{уточ.}} = \frac{N}{N_p - N_c} \times \sum_{n \notin \theta_c} x_n$, розраховується оцінка інтенсивності шуму.
4. Проводиться виявлення вузькосмугових сигналів в смузі частот $\Delta F(q)$ і запам'ятовування всіх компонент, що перевищили порогове значення.
5. Антенний комутатор підключає до входу пристрою МЕО антену з номером $j = 2, \dots, J$ після чого виконуються дії відповідно до кроків 3, 4.
6. Для кожного з виявлених сигналів $u_m(j,t), j = 2, \dots, J$ визначаються номер *j* і середня потужність, для якого $\hat{P}_{j,m}$ максимальна, а також $\hat{P}_{1,m}$ для опорної антени *(j = 1)*.
7. Для кожного з виявлених сигналів розраховується оцінка відмінності спостережуваної інтенсивності $\Delta P_{\text{спост}}$ за правилом: $\Delta P_{\text{спост}} = 10 \lg \left(\frac{\hat{P}_{j,m}}{\hat{P}_{1,m}} \right) + (\mu_c - \mu_o)$, де *j = 2, .., J* з перерахунком поправочних коефіцієнтів μ_c та μ_o відповідно до параметрів антен в КЗ («сигнальних») і «опорної».
8. Визначається клас джерела електромагнітних випромінювань ς_m відповідно до правила:

$$\varsigma_m = \begin{cases} \rho_{\text{кз}}, \text{якщо } \Delta P_{\text{спост}} > \Delta P_{\text{пор 2}} \\ \text{не визначено, якщо } \Delta P_{\text{пор 1}} < \Delta P_{\text{спост}} < \Delta P_{\text{пор 2}}, \\ \rho_{\text{зовн}}, \text{якщо } \Delta P_{\text{спост}} \leq \Delta P_{\text{пор 1}} \end{cases}$$

де $\rho_{\text{кз}}$ - об'єднує джерела, що належать КЗ, а $\rho_{\text{зовн}}$ – віддалені джерела випромінювань.

9. Далі процедура повторюється для всіх ділянок робочого діапазону, тобто дії по пунктам 1-9 для *q = 2* і т.д.

Використовувані пороги $\Delta P_{\text{пор 1}}$ и $\Delta P_{\text{пор 2}}$ можуть в кожному конкретному випадку коригуватися з урахуванням властивостей області контролю і розміщення приймальних антен. Крім того, дані пороги можуть бути різними для різних ділянок спектра відповідно до реальних параметрів електромагнітної обстановки. На основі викладеного можна зробити висновок, що виявлені структурні закономірності розподілу електромагнітного поля всередині приміщень можуть бути реалізовані для підвищення ефективності використання радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій для моніторингу електромагнітної обстановки, пошуку пристроїв негласного знімання конфіденційної інформації та технічних каналів витоку за рахунок побічних електромагнітних випромінювань офісної техніки.

Оцінка ефективності використання радіотехнічних пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки

Під ефективністю роботи пристроїв МЕО будемо розуміти відношення кількісно виражених результатів, отриманих за допомогою даного пристрою за заданий період часу, до потенційних або максимально можливих за той же період.

Ефективність використання пристроїв МЕО в значній мірі залежить від його функціональних і технічних можливостей, що визначають їх продуктивність та виробничу потужність при вирішенні основних завдань радіомоніторингу (Калюжный і інші, 2013; Система управління якістю, 2009).

Відповідно до детермінованого просторово-частотно-часового підходу до оцінювання ефективності функціонування пристроїв МЕО (Калюжный і інші, 2015; Калюжный і інші, 2013) їх продуктивність в загальному вигляді визначається виразом (Калюжный і інші, 2015):

$$\Pi = \Delta S \times \Delta \mathrm{F}(\frac{\Delta \mathrm{T}}{T}),$$

де ΔS, $\Delta \mathrm{F}$ и $\Delta \mathrm{T}$ – площа зони ЕМД, частотний діапазон і час контролю; Т – період часу (година, зміна, доба).

Тоді виробничу потужність пристроїв МЕО можна оцінити як (Калюжный та інші, 2015):

$$\pi = \Pi \times T_{\text{пл.МЕО}},$$

де $T_{\text{пл.МЕО}}$ – плановий час радіоконтролю (місяць, квартал, рік).

Технологія використання пристроїв МЕО залежить від контрольованої радіотехнології, характеру вирішуваних завдань, рівня автоматизації їх вирішення і кваліфікації операторів.

Відповідно до (Система управління якістю, 2009) Державне підприємство «Український державний центр радіочастот» здійснює плановий періодичний (щомісячний) технічний радіоконтроль випромінювань РЕЗ 23 радіотехнологій загального користування протягом $T_{\text{пл.МЕО}} = 21$ робочого дня при тривалості робочої зміни $T_{зм} = 8$ годин з наданням щомісячної та узагальненої щоквартальної електронної звітності за $3T_{\text{пл.МЕО}} = 63$ робочих дня. При цьому вирішуються такі завдання моніторингу електромагнітної обстановки з кількісно вираженими результатами:

- контроль відповідності параметрів випромінювань зареєстрованих РЕЗ нормативним документам;
- контроль зайнятості смуг радіочастот;
- виявлення неліцензованих та незаконно встановлених радіопередавачів;

- виявлення джерел радіозавад.

З багатьох причин об’єктивного і суб’єктивного характеру (несправності апаратури контролю і транспортних засобів мобільних пристроїв МЕО, недостатня кваліфікація обслуговуючого персоналу і ін.) Деякі типи пристроїв МЕО не можуть бути використані для виконання завдань радіомоніторингу весь плановий період $T_{\text{пл.МЕО}}$. Для виявлення конкретних причин такого характеру доцільно ввести показник і критерій ефективності використання пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки.

В якості такого показника пропонується коефіцієнт (показник ефективності) використання існуючого переліку пристроїв МЕО.

Оцінювання показників ефективності має важливе практичне значення. За допомогою показника (Калюжный і інші, 2015):

$$E_{\text{пл.МЕО}} = \frac{\pi_{\text{р}}}{\pi_{\text{п}}}$$

де $\pi_{\text{р}}$, $\pi_{\text{п}}$– реальна та потенційна продуктивні потужності.

Оцінити ефективність роботи кожного пристрою МЕО за плановий період можна:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{z=1}^{Z} \times \sum_{j=1}^{J} T_{\text{пл.МЕО}}^{zj}}{T_{\text{пл.МЕО}}}$$

де $\sum_{z=1}^{Z} \times \sum_{j=1}^{J}$ – показники продуктивності пристроїв МЕО в певному просторово-частотно-часовому континуумі узагальнені за завданнями і класам радіотехнологій, $T_{\text{пл.МЕО}}^{zj}$ – кількість робочих змін для вирішення задачі моніторингу електромагнітної обстановки.

Продемонструємо практичну спрямованість викладеного методичного підходу до оцінки ефективності роботи і використання існуючого переліку пристроїв МЕО.

Виходячи з виразу (Калюжный і інші, 2015):

$$\Delta T^{zj} = \Delta T_{\text{пр}}^{zj} + \Delta T_{\text{непр}}^{zj}$$

необхідно визначити і розрахувати продуктивні і непродуктивні витрати часу при виконанні процедури моніторингу електромагнітної обстановки. Відповідно до (Система управління якістю, 2009) було визначено, що загальні непродуктивні витрати часу включають в себе:

- час $\Delta T_{\text{пз}}$ постановки завдань операторам на зміну;
- час $\Delta T_{\text{кф}}$ на проведення контролю функціонування пристроїв МЕО;
- час $\Delta T_{\text{рм}}$ рух до місця проведення моніторингу;
- час $\Delta T_{\text{рз}}$ на розгортання / згортання пристроїв МЕО;
- час $\Delta T_{\text{ко}}$ на кінцеву обробку результатів радіомоніторингу.

З урахуванням технології використання пристроїв МЕО непродуктивні витрати часу для стаціонарних, мобільних і портативних застосувань будуть відрізнятися. Непродуктивні витрати часу для стаціонарних пристроїв МЕО розраховуються як:

$$\Delta T_{\text{непр.стац}}^{zj} = \Delta T_{\text{пз}}^{zj} + \Delta T_{\text{кф}}^{zj} + \Delta T_{\text{ко}}^{zj}$$

Непродуктивні витрати часу для мобільних і портативних пристроїв МЕО визначаються наступними часовими параметрами:

$$\Delta T_{\text{непр.моб}}^{zj} = \Delta T_{\text{пз}}^{zj} + \Delta T_{\text{кф}}^{zj} + \Delta T_{\text{ко}}^{zj} + \Delta T_{\text{рм}}^{zj} + \Delta T_{\text{рз}}^{zj}$$

При цьому необхідно враховувати також те, що не всі мобільні пристрої потребують в розгортанні апаратури на місцевості і можуть здійснювати виконання необхідних функціональних операцій в автоматичному режимі під час руху. В цьому випадку час $\Delta T_{\text{рз}}^{zj} = 0$.

До продуктивним витрат часу на моніторинг електромагнітної обстановки одного РЕЗ стаціонарними, мобільними і портативними пристроями МЕО були віднесені:

- час $\Delta T_{\text{МЕО}}^{zj1}$ на виконання операцій по моніторингу електромагнітних випромінювань;
- час $\Delta T_{\text{фп}}^{zj1}$ на формування електронного протоколу вимірювань;
- час $\Delta T_{\text{по}}^{zj1}$ на первинну обробку результатів.

Відповідно загальні продуктивні витрати часу для всіх типів пристроїв МЕО дорівнюють:

$$\Delta T_{\text{пр}}^{zj1} = \Delta T_{\text{МЕО}}^{zj1} + \Delta T_{\text{фп}}^{zj1} + \Delta T_{\text{по}}^{zj1}$$

Для проведення відповідних розрахунків було проведено хронометраж продуктивних і непродуктивних витрат часу. Розроблюваний пристрій на основі методу викладеного умовно позначимо як АДБ-511 та порівняємо його хронометраж використання з найпоширенішими пристроями МЕО при однаковій продуктивності та вирішенні завдань моніторингу електромагнітної обстановки.

Загальні продуктивні витрати часу $\Delta T_{\text{пр}}^{zj1}$для запропонованого пристрою зменшились на 10 хв в порівнянні з середнім часом для мобільних пристроїв МЕО, що становить 40 %; в порівнянні з середнім часом для стаціонарних пристроїв МЕО $\Delta T_{\text{пр}}^{zj1}$ зменшилось на 33 хв, що становить 68.75%. Результати порівняння зображені в таблиці 1.

Таблиця 1.
Порівняння продуктивних і непродуктивних витрат часу по вирішенню завдань МЕО за робочу зміну

	Продуктивні затрати часу за робочу зміну $\Delta T_{\text{пр}}^{zj1}$, хв	**Непродуктивні затрати часу за робочу зміну $\Delta T_{\text{непр}}^{zj}$, хв**
Мобільний: PM-1300 XX, PM-1300-2P3, PM-1300-P3/5, PM-1300-P3/5M	10	55
Стаціонарний: PM-172, PM-2500P, AIK-C, AIK-СП6, UMS-100	33	5

Висновки

В результаті проведених наукових досліджень за розглянутими проблемами отримані такі найважливіші наукові результати:

1. Обґрунтовано наукові методи синтезу багатоетапного процесу виявлення технічних каналів витоку інформації, що включає етапи: отримання «відомих» ЕМВ (I), виявлення «невідомих» ЕМВ (II), ідентифікації та оцінки небезпеки ЕМВ і ПЕМВН (III) та побудова периметру контрольованої зони, локалізації місця розташування виявленого джерела електромагнітних випромінювань і протидії зніманню (витоку) інформації (IV). Результати проведених досліджень: «відомі» випромінювання (I), перелік «невідомих» випромінювань (II), переліки ідентифікованих ЕМВ, параметрів цифрових радіосигналів і частот виявлених потенційних каналів витоку (III), координати розташування джерела електромагнітних випромінювань в виділеному приміщенні, формування прицільних перешкод на частотах ідентифікованих джерел ЕМВ і зниження рівня побічних випромінювань перевірених технічних засобів (IV).
2. Розроблено оригінальний підхід, алгоритм функціонування та методи синтезу одноканальних апаратно-програмних засобів пошуку та виявлення технічних каналів витоку інформації, що вирішують завдання виявлення несанкціоновано встановленого в обмеженому просторі радіомікрофона та забезпечують підвищення швидкодії виявлення в умовах радіоперешкод, в тому числі від

радіомовних станцій, виявлення радіопередавачів, використовуваних будь-яких видів модуляції.

3. Розраховано загальні продуктивні витрати часу $\Delta T_{\text{пр}}^{zj1}$ для запропонованого пристрою МЕО, що зменшились на 10 хв (40 %) в порівнянні з середнім часом для мобільних пристроїв МЕО; в порівнянні з середнім часом для стаціонарних пристроїв МЕО $\Delta T_{\text{пр}}^{zj1}$ зменшились на 33 хв (68.75%).

Список джерел інформації:

Бахтіяров, Д.І. (2019). Особливості вибору моделі розповсюдження електромагнітних випромінювань всередині приміщення. *Наукоємні технології, vol. 44, 4*, 457-467.

Бахтіяров, Д.І. та Козлюк І.О. (2019). Методика модернізації моделі розповсюдження радіохвиль в середині приміщення для побудови контрольованої зони корпоративної мережі. *Наукоємні технології, vol. 43, 3*, 349-356.

Bakhtiiarov, D. (2016). Evaluation of energy availability of means to communicate with UAVs in conditions of radioelectronic countermeasures by the enemy. *Collection "Information technology and security", vol. 4, 1*, 118-130.

Бахтіяров, Д.І. (2020). Оцінка можливості перехоплення семантичної інформації за рахунок побічних електромагнітних випромінювань у відеосистемі персонального комп'ютера. *Colloquium-journal, 26*, 40-46.

Конахович, Г.Ф., Давлет'янц, О.І., Лавриненко, О.Ю. та Бахтіяров, Д.І. (2015). Порівняльний аналіз перетворення Фур'є, косинусного перетворення та Вейвлет-перетворення як спектрального аналізу цифрових мовних сигналів. *Наукоємні технології, vol. 27, 3*, 210-220.

Konakhovych, G.F., Lavrynenko, O.Y., Antonov, V.V., & Bakhtiiarov, D.I. (2016). A Digital Speech Signal Compression Algorithm Based on Wavelet Transform. *Electronics and control systems, 2*, 30-36.

Калюжный, Н.М., Задонский, А.И. та Ковшарь, В.А. (2015). Методический подход к оценке эффективности работы средств радиоконтроля по комплексному решению задач радиочастотного мониторинга. *Системи озброєння і військова техніка, 2(42)*, 99-105.

Калюжный, Н.М., Слободянюк, П.В., Благодарный, В.Г. (2013). Системная методология оценивания эффективности функционирования

национальных систем радиочастотного мониторинга на основе пространственно-частотно-временного подхода. *Прикладная радиоэлектроника, 12, 3*, 375-386.

Система управління якістю. Виконання робіт з технічного радіоконтролю параметрів випромінювання РЕЗ (ВП). Інструкція І-3.4.3/01-09. Редакція 01. (Введена наказом УДЦР від 19.11.2009 № 522).